

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

З. Т. НАЗАРЧУК (головний редактор), Г. М. НИКИФОРЧИН (заст. головного редактора), Р. Р. КОКОТ (відповідальний секретар), О. Є. АНДРЕЙКІВ, Р. Є. ГЛАДИШЕВСЬКИЙ, І. М. ДМИТРАХ, З. А. ДУРЯГІНА, І. Ю. ЗАВАЛІЙ, О. І. ЗВІРКО, І. М. ЗІНЬ, Р. М. КУШНІР, Д. Б. КУРИЛЯК, О. П. ОСТАШ, В. В. ПАНАСЮК, І. М. ПОГРЕЛЮК, М. С. ПОЛУТРЕНКО, В. І. ПОХМУРСЬКИЙ, Т. О. ПРИХНА, М. П. САВРУК, М. Д. САХНЕНКО, В. Р. СКАЛЬСЬКИЙ, О. З. СТУДЕНТ, М. С. ХОМА, О. Е. ЧИГИРИНЕЦЬ, В. М. ФЕДІРКО, С. О. ФІРСТОВ, О. Т. ЦИРУЛЬНИК, П. В. ЯСНІЙ

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Р. АКІД (Великобританія), Г. БОЛЗОН (Італія), М. ЕЛЬБОВДЖАІНІ (США–Канада), Е. ГДУТУС (Греція), В. КЕЙН (Індія), Т. ЛАГОДА (Польща), Г. ЛЕСЮК (Польща), П. МОРЕЙРА (Португалія), А. ПІХ (Німеччина), Г. ПЛЮВІНАЖ (Франція), Я. ПОКЛЮДА (Чехія), Г. ШМІТТ (Німеччина), А. СЕДМАК (Сербія), Х. ТОРІБІО (Іспанія), Л. ТОТ (Угорщина), П. ТРАМПУШ (Угорщина), В. ЯРТИСЬ (Норвегія)

EDITORIAL BOARD

Z. T. NAZARCHUK (Editor-in-Chief), H. M. NYKYFORCHYN (Deputy Editor-in-Chief), R. R. KOKOT (Secretary), O. Ye. ANDREIKIV, R. Ye. GLADYSHEVSKII, I. M. DMYTRAKH, Z. A. DURIAGINA, I. Yu. ZAVALIY, O. I. ZVIRKO, I. M. ZIN', R. M. KUSHNIR, D. B. KURYLIAK, O. P. OSTASH, V. V. PANASYUK, I. M. POHRELYUK, M. S. POLUTRENKO, V. I. POKHMURSKII, T. O. PRIKHNA, M. P. SAVRUK, M. D. SAKHNENKO, V. R. SKALSKYI, O. Z. STUDENT, M. S. KHOMA, O. E. CHYHYRYNETS', V. M. FEDIRKO, S. O. FIRSTOV, O. T. TSYRUL'NYK, P. V. YASNII

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

R. AKID (Great Britain), G. BOLZON (Italy), M. ELBOUJDAINI (USA–Canada), E. GDOUTOS (Greece), V. KAIN (India), T. LAGODA (Poland), G. LESIUK (Poland), P. MOREIRA (Portugal), A. PICH (Germany), G. PLUVINAGE (France), J. POKLUDA (Czech Republic), G. SCHMITT (Germany), A. SEDMAK (Serbia), J. TORIBIO (Spain), L. TÓHT (Hungary), P. TRAMPUSH (Hungary), V. YARTYS' (Norway)

Відповідальний за випуск д-р техн. наук, проф. Г. М. Никифорчин

Responsible for issue Dr. (Engn.), Prof. H. M. Nykyforchyn

Адреса редакції: 79601, Львів МСП, Наукова, 5, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України. Тел.: (032) 263-73-74, (032) 229-62-30. Факс: (032) 264-94-27. E-mail: journal.pcm@gmail.com

WWW-address: <http://pcmm.ipm.lviv.ua>

Editorial office address: Karpenko Physico-Mechanical Institute, 5, Naukova St., Lviv 79601, Ukraine. Tel.: (38) 032 263-73-74, (38) 032 229-62-30. Fax: (38) 032 264-94-27. E-mail: journal.pcm@gmail.com

Відповідальний секретар редакції **Р. Р. Кокот**

Редактори *Д. С. Бриняк, О. Т. Досин, Л. Є. Єлейко*

Технічний редактор *І. В. Калинюк*

Зав. групою комп'ютерної підготовки видання *І. В. Калинюк*

Комп'ютерний набір *Л. Г. Колчак, Г. М. Кулик*

Підписано до друку 05.12.2021. Формат 70×108/16. Папір офсетний № 1. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 12. Умовн. фарбо-відбитків 12,5. Тираж 180 прим. Замовлення 061221 від 06.12.2021. Ціна договірна. Реєстраційне свідоцтво серія ДК № 5068 від 22.03.2016

Друкарня ТзОВ "Простір-М", 79000, Львів, вул. Чайковського, 8

© ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Г. В. Карпенка НАН УКРАЇНИ,
"ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ", 2021

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Г. В. КАРПЕНКА

ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ

Міжнародний науково-технічний журнал
Заснований у січні 1965 року
Виходить 6 разів у рік

ТОМ 57, № 6, 2021

листопад – грудень

ЗМІСТ

<i>Супрун В. Я., Маруха В. І., Силованюк В. П.</i> Технології рециклінгу відходів поліуретану (Огляд).....	5
--	---

Світове виробництво поліуретанів (ПУ) на сьогодні становить більше 18 млн. т. і очікують, що до 2024 р. воно сягне понад 24 млн. т. Розглянуто публіковані статті про методи рециркуляції поліуретану для зменшення кількості відходів, захисту навколишнього середовища та запобігання захоронення на сміттєзвалищах. Механічна переробка – найдавніший і простий метод переробки ПУ відходів. Хімічну переробку ПУ гліколізом вважають найекологічнішою та конкурентоспроможною. Гліколіз поліуретану – це хімічний процес деполімеризації, оснований на реакції transesterифікації поліолів і гліколів в уретановій молекулі. Він дає можливість зруйнувати полімерну матрицю і вивільнити поліол або зробити новий рециклополіол. Показано можливість використання різних гліколів та каталізаторів в реакції каталітичної transesterифікації.

Ключові слова: поліуретан, відходи, регенерація, деполімеризація, гліколіз.

<i>Скальський В. Р., Романишин І. М., Мокрий О. М., Семак П. М.</i> Оцінювання пошкодженості матеріалів акустичними методами (Огляд). Ч. 2.....	15
---	----

Проаналізовано сучасні тенденції розвитку ультразвукових методів оцінювання пошкодженості: на основі “некласичного” прояву структурно обумовлених нелінійних ефектів, “структурних” шумів, вперед розсіяного сигналу: дифузного ультразвуку, хвильової інтерферометрії.

Ключові слова: пошкодженість, нелінійна ультразвукова спектроскопія, зворотно розсіяний сигнал, В-скан, “дифузний” ультразвук, хвильова інтерферометрія.

<i>Андрейків О. Є., Гембара Н. Т.</i> Моделювання впливу водню на пластичне деформування металів.....	23
---	----

Сформульовано основні рівняння математичної моделі, які дають змогу оцінити вплив водню та механічного навантаження на пластичну деформацію металу. Показано, що водень може збільшувати або зменшувати швидкість дислокації залежно від його концентрації та температури і прикладеного навантаження в

чистому α -Fe. За малих концентрацій (до 2...3 ppm) водень посилює рух дислокацій, збільшуючи цим швидкість пластичної деформації.

Ключові слова: водень, швидкість дислокацій, пластична деформація, концентрація водню.

Деркач О. Л., Зіньковський А. П., Савченко К. В., Онищенко Є. О.

Розрахункове визначення ефективних характеристик розсіювання енергії в шаруватих композитах.....30

Подано аналітичні співвідношення, отримані на основі системи гіпотез Фойгта–Рейсса, та уточнену модель (на основі енергетичного методу) для визначення ефективних характеристик розсіювання енергії в шаруватих композитах, що дало змогу отримати їх достовірні значення. Розроблена на основі енергетичного методу модель базується на скінченноелементному моделюванні представницького елемента об'єму композита та порівнюванні енергії його циклічного деформування до енергії квазіоднорідного об'єму матеріалу. Порівняно розрахункові залежності відносного розсіювання енергії від об'ємної частки вуглецевих та скляних волокон в епоксидній матриці з відомими експериментальними результатами.

Ключові слова: розсіювання енергії, композитний матеріал, представницький елемент об'єму, ефективні модулі, метод скінченних елементів.

Ваницький Я. Л., Віра В. В., Палюх В. М., Холод П. Ф., Голян О. М.

Моделювання та оцінювання міцності сталі турбогенераторів за складного навантаження та підвищених температур.....38

Проаналізовано деякі аспекти уточненого моделювання та визначення характеристик міцності сталі 26Х2МФ турбогенераторів за складного деформування при підвищених температурах. Вказано на важливість використання критерію руйнування, який враховує вплив нормальних і дотичних напружень на міцність сталі під складним навантаженням за підвищених температур. Побудовано діаграми граничного стану сталі за сумісної дії розтягу та закруту в умовах високих температур.

Ключові слова: складне навантаження, критерій гранично-рівноважного стану, діаграма граничного стану, підвищена температура.

Козачок О. П. Локальне фрикційне зношування пружного півпростору

з виступом.....42

Досліджено контакт двох пружних півплощин (плоска деформація), поверхня одного з яких – пологий симетричний виступ циліндричної форми, за локального зношування на основі моделі фрикційно-втомного руйнування. Сформульовану контактну задачу зведено до сингулярного інтегро-диференціального рівняння з ядром Коші для товщини зношеного матеріалу та рівнянь для визначення невідомих ділянок зношування. Проаналізовано зміну форми виступу та контактного тиску після зношування.

Ключові слова: зносоконтакт, виступ, локальне зношування, сингулярне інтегро-диференціальне рівняння.

Хома М. С., Корній С. А., Винар В. А., Дацко Б. М., Максїшко Ю. Я.,

Диха О. В., Буклів Р. Л. Вплив сірководню на вуглекислотну корозію та механічні характеристики високоміцної трубної сталі.....49

Досліджено корозійну тривкість сталі групи міцності V-150 у модельній пластовій воді, насиченій вуглекислим газом та сумішшю вуглекислого газу і сірководню у співвідношенні 50 : 50 (тиск $P = 0,1$ і 6 МПа; температура 25 і 60°C).

Встановлено, що сірководень знижує швидкість корозії практично втричі за кімнатної температури та на порядок – за підвищених тиску та температури, що пов'язано із утворенням сульфідної плівки на основі макінавіту та тріоліту, яка гальмує вуглекислотну корозію сталі. Визначений електрохімічним методом струм корозії сталі у середовищі, насиченому вуглекислим газом і сумішшю газів, практично не відрізняється і становить $\sim 0,013 \text{ mA/cm}^2$. Виявлено, що середовища, насичені газами, суттєво не впливають на границі міцності та плинності, однак, границя пропорційності зростає на 6 та 17%, відносне звуження знижується в $\sim 4,8$ та $5,2$ рази, а видовження – у $\sim 4,8$ та $9,1$ рази для модельної пластової води з CO_2 та з $50\% \text{ CO}_2 + 50\% \text{ H}_2\text{S}$, відповідно.

Ключові слова: *сталь, модельна пластова вода, вуглекислий газ, сірководень, корозія, механічні властивості, руйнування, температура, тиск.*

Цибуля С. Д., Старчак В. Г., Іваненко К. М., Буяльська Н. П., Костенко І. А.,
Мачульський Г. М. Вплив техногенного забруднення середовища важкими металами на протикорозійний захист металоконструкцій.....56

Вивчено особливості протикорозійного захисту металоконструкцій за техногенного впливу (інгредієнтного, енергетичного). Показано, що забруднення важкими металами прісних, морських вод, повітря, ґрунту, підсилює ризик виникнення техногенних аварій. Розроблено комплексну інтегральну оцінку визначення рівнів техногенного забруднення середовищ (природних: атмосферне повітря, поверхневі води, ґрунти; технологічних: стічні води, робочі середовища), за якою встановлено кореляційні залежності “Інтегральні показники техногенного забруднення–корозійна тривкість сталі” та визначено безпечні рівні техногенного впливу на витривалість металоконструкцій. Показано можливість підвищення протикорозійного захисту з використанням ефективних екологічно безпечних синергічних захисних композицій на вторинній сировині (з утилізацією регіональних відходів) за одночасного зниження техногенного забруднення середовища.

Ключові слова: *протикорозійний захист, техногенний вплив, малоциклова витривалість, екологічна безпека.*

Астрелін І. М., Герасименко Ю. С., Білоусова Н. А., Косогіна І. В.,
Редько Р. М. Протикорозійна та протинакипна дія інгібіторів у кондиційованій стічній воді рециркуляційних систем.....65

Наведено результати дослідження корозивності біологічно очищеної стічної води Боргницької станції аерації, протикорозійної та протинакипної ефективності інгібіторів ІКВС-2 (на основі діетаноламіна та фосфатних сполук) та реагенту Акватон-10 (на основі полігексаметиленгуанідин гідрохлориду). З парціальних поляризаційних кривих за наявності інгібіторів виявлено відмінності в корозійних процесах для маловуглецевої сталі. За періодичного нагріву та охолодження води методом поляризаційного опору визначено коефіцієнти гальмування корозії та питомий приріст маси накипу і поверхневих осадів. Встановлено, що формування захисної плівки на сталі за знижених концентрацій інгібіторів залежить від тривалості експозиції і механізм гальмування корозії переважно пов'язаний з блокуванням поверхні, причому зі збільшенням часу дії нагрітої води (95°C) коефіцієнти гальмування корозії підвищуються до $2,5\text{...}3,5$. Вперше встановлено, що досліджені інгібітори мають високу протинакипну ефективність.

Ключові слова: *корозія, інгібітор, стічна вода, коефіцієнт гальмування корозії, протинакипна ефективність.*

Слободян З. В., Тимусь М. Б., Маглатюк Л. А., Кунович Р. Б. Інгібіторні властивості глюкози та сегнетової солі в 5%-их розчинах хлоридної та лимонної кислот.....	73
---	----

Обґрунтовано необхідність застосування екобезпечних речовин як інгібіторів для кислотного очищення теплообмінного обладнання від солевідкладень та продуктів корозії. Показано, що речовини природного походження – глюкоза та сегнетова сіль – за концентрацій 2; 5 та 9 г/л задовільно захищають від корозії сталь 20 у 5%-их розчинах хлоридної та лимонної кислот. У хлоридній кислоті композиція глюкоза + сегнетова сіль за співвідношення 1:1 не виявляє синергічних властивостей, а в лимонній – спостерігаємо синергічне підсилення захисної дії. Електрохімічними дослідженнями показано, що сегнетова сіль та глюкоза сповільнюють швидкість обох електродних реакцій, тобто мають властивості інгібіторів змішаної дії. Показники гальмування швидкості корозії, розраховані з електрохімічних та гравіметричних даних, узгоджуються задовільно.

Ключові слова: теплообмінне обладнання, еко-інгібітор, глюкоза, сегнетова сіль, швидкість корозії, потенціал, струм, синергізм.

Греділь М. І., Звірко О. І., Цирульник О. Т., Никифорчин Г. М. Розвиток лабораторного методу деградування сталей для оцінювання їх опору корозійному розтріскуванню.....	79
--	----

Лабораторний експрес-метод деградації низьколегованих сталей, який комбінує попереднє електролітичне наводнювання та подальше пластичне деформування зразків та передбачає розвиток за таких умов розсіяної в об'ємі металу пошкодженості, адаптовано для прогнозування схильності газопровідних сталей різної міцності (17Г1С, Х60 та Х70) до корозійного розтріскування (КР) у модельному ґрунтовому розчині. Виявили, що сталь 17Г1С у вихідному стані нечутлива до КР, однак, стає схильною після лабораторної деградації. Але вища міцність сталей не обов'язково означає інтенсивніше зниження опору КР внаслідок їх деградації.

Ключові слова: трубопровідна сталь, експлуатація, лабораторна деградація, механічні властивості, корозійне розтріскування.

Осташ О. П., Поливода С. Л., Ченіль Р. В., Тітов В. А., Гогаєв К. О., Кулик В. В., Ворон М. М., Головчук М. Я. Вплив рідкісноземельних металів на структуру і властивості литих та деформованих сплавів системи Al–Mg–Cr–Sc–Zr.....	84
---	----

Досліджено структуру і властивості сплаву системи Al–Mg–Sc, який має понижений (4,55...4,65 mass%) вміст магнію і замість марганцю містить 0,4...0,5 mass% хрому, а також мікролегований (0,05...0,10 mass%) лантаном. Встановлено, що внаслідок дисперсійного зміцнення вторинними інтерметалідами хрому і лантану він у литому стані після гомогенізації переважає за міцністю відомі сплави марок 1570 і 1545. Після гарячого і холодного вальцювання за міцністю і пластичністю не поступається їм, але має вищі характеристики опору корозії і росту втомної макротріщини.

Ключові слова: алюмінієві сплави, хром, лантан, структура, міцність, опір корозії, циклічна тріщиностійкість.

Лавриць С. М., Погрелюк І. М., Лук'яненко О. Г., Джуган О. А. Трибологічна поведінка поруватого титану після термічного оксидування.....	95
--	----

Досліджено трибологічну поведінку поруватого технічно чистого титану, отриманого методом порошкової металургії, у фрикційній парі з інструментальною

сталлю за умов граничного мащення. Показано, що поруватість сприяє підвищенню його зносостійкості порівняно з безпористим титаном, отриманим традиційною технологією. Відкриті пори на поверхні титану, слугуючи додатковими резервуарами для мастила, під час тертя постачають його в зону трибоконтакту, що сприяє зниженню інтенсивності зношування за адгезійним механізмом. Термічне оксидування поруватого титану знижує коефіцієнт тертя та інтенсивність зношування трибопари на 34 та 24% відповідно, що пов'язано з формуванням поверхневої хімічно інертної оксидної плівки TiO_2 з високою мікротвердістю.

Ключові слова: титан, порошкова металургія, поруватість, тертя, зношування, поверхнева зміцнювальна обробка, термічне оксидування.

Власовець В. М., Рідний Р. В., Антощенко Р. В. Підвищення твердості наплавлень відновлюваних деталей економним мікролегуванням.....102

Встановлено доцільність підвищення твердості наплавлень відновлюваних деталей, виконуваних під шаром флюсу, з використанням як легувального додатку до нього зольних відходів теплової електростанції. Оптимізовано дозований додаток золи в стандартний флюс. Досліджено фізико-механічні властивості металу наплавлення та металографічно – його структурний стан. Виявлено, що з введенням у стандартний флюс оптимальної дози (5...7%) зольних відходів утворюється дрібнозернистіша структура, а також зменшуються кількість і розміри неметалевих включень. Запропонований метод забезпечує збільшення твердості поверхневого шару на 18...23% і мікротвердості – на 15...20%, внаслідок чого підвищується термін служби відновлених деталей, а отже, і якість ремонту виробів. Крім того, описана технологія наплавлень дає можливість, у більшості випадків, вилучати додаткові технологічні операції.

Ключові слова: відновлювані деталі, твердість наплавлень, мікротвердість, легувальні добавки, флюс, зольні відходи, включення, структура.

Сачук О. В., Зажигалов В. О., Діюк О. А., Дуліан П., Старчевський В. Л., Кузнецова Л. С., Кізюн О. В. Властивості $Ca(OH)_2/TiO_2$ композитів, модифікованих механохімічним та ультразвуковим методами.....109

Досліджено вплив ультразвукової (УЗО) (1 h) та механохімічної (МХО) (4 h) обробок на фізико-хімічні властивості системи $Ca(OH)_2/TiO_2$ з молекулярним співвідношенням 1:1. Методом рентгенофазового аналізу зафіксовано подрібнення вихідних компонентів суміші після УЗО та формування фази кальцій титанату після МХО. Аналізом поруватої структури виявлено збільшення питомої площі поверхні та загального об'єму пор внаслідок активації порошоків. Методом СЕМ встановлено утворення на поверхні значно менших за розмірами кристалів внаслідок УЗО та формування продовговуватих призматичних кристалів кальцій титанату після МХО. Каталітичні властивості зразків системи вивчено під час реакції селективного окиснення етанолу. Виявлено, що за низьких температур основним її продуктом є оцтовий альдегід ($S = 100\%$ при $240^\circ C$). З підвищенням її температури утворюється водень з максимальним виходом продукту 32...38% та продуктивністю $126 L_{H_2}/(h \cdot kg_{cat})$.

Ключові слова: кальцій титанат, оцтовий альдегід, водень, етанол, активація.

Cieciela K., Zaleski K., and Kecik K. Вплив параметрів фрезерування на формування поверхневих дефектів у полімерних композитах.....117

Досліджено поверхневі дефекти (витягнуті та обірвані), а також відшарування матриці від волокон. Проаналізовано вплив параметрів фрезерування на кількість зруйнованих волокон та відсоток дефектів у структурі матеріалу. Вивчено полімерні матеріали, армовані вуглецевим волокном (CFRP). Встановлено за-

лежності між параметрами фрезерування та кількістю отриманих дефектів. Виявлено, що кількість дефектів суттєво залежить від швидкості подачі матеріалу, а зі зростанням швидкості різання дефектність композитів зменшується.

Ключові слова: фрезерування, армовані вуглепластики, дефекти поверхні, рельєф.

Посувайло В. М., Ковальчук І. В., Івасенко І. Б. Вплив пероксиду водню на склад та поруватість оксидокерамічних покриттів на сплавах систем Al–Si–Cu та Al–Cu–Mg.....127

Досліджено вплив пероксиду водню на фазовий склад, товщину та поруватість оксидокерамічних покриттів, отриманих методом плазмоелектролітного оксидування на алюмінієвих сплавах Al–Si–Cu та Al–Cu–Mg. Встановлено, що H₂O₂ за концентрації 5 g/l збільшує товщину оксидокерамічного покриття у два рази порівняно з вихідним електролітом для цих двох систем. Подальше збільшення концентрації пероксиду водню призводить до зменшення товщини оксидокерамічних покриттів. Максимальний вміст корунду отримано за концентрації пероксиду водню 5 g/l для системи Al–Cu–Mg та 7 g/l для системи Al–Si–Cu. Наявність у сплаві кремнію призводить до формування в оксидокерамічних покриттях силіманіту та кварцу, що супроводжується зростанням їх об'єму. Зі збільшенням концентрації пероксиду водню в електроліті зменшується поруватість системи Al–Si–Cu і не змінюється в системі Al–Cu–Mg.

Ключові слова: плазмоелектролітне оксидування, оксидокерамічні покриття, рентгеноструктурний аналіз, кристалічна структура, поруватість, силіманіт.

Петасюк Г. А. Опосередковане визначення товщини покриву порошків синтетичного алмазу з використанням нових 3D моделей зерна.....133

Вперше аналітично опосередковано встановлено товщину покриву порошків синтетичного алмазу для нових 3D моделей їх зерна. Порівняльно вивчено похибку її визначення, яку вносять запропоновані нові і відомі 3D моделі та відповідні аналітичні залежності. Сформульовано напрямки подальшого розвитку таких досліджень.

Ключові слова: покрив, порошок, зерно, товщина, методи визначення, 3D модель.

У НАУКОВИХ КОЛАХ

Ясній П. В., Никифорчин Г. М. Європейська конференція “Експлуатаційна пошкодженість, її діагностика і прогнозування”.....137

НАШІ ВТРАТИ

Ясній Петро Володимирович.....139

Перелік статей, опублікованих у журналі “ФХММ” за 2021 р.....141

Авторський покажчик.....147

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE
H. V. KARPENKO PHYSICO-MECHANICAL INSTITUTE

PHYSICO-CHEMICAL MECHANICS OF MATERIALS

International Scientific-Technical Journal
Founded in January 1965
Published bimonthly

VOLUME 57, № 6, 2021

November – December

CONTENTS

<i>Suprun V. Ya., Marukha V. I., and Sylovaniuk V. P.</i> Polyurethane waste recycling technologies (Review).....	5
---	---

World production of polyurethanes (PU) is currently more than 18 mln. t. and is expected to reach over 24 mln. t. by 2024. In this short review recently published papers on PU recycling are discussed in order to reduce the amount of PU waste, to protect the environment and to prevent waste land filling. Mechanical regrinding is the oldest and simple method of PU waste recycling. Chemical recycling of PU by glycolysis is considered to be the most environment-friendly and economically competitive compared to virgin raw materials. The glycolysis of PUs is a chemical recycling process based on the transesterification (exchange reaction) of polyols and glycols in the urethane molecule. The process allows the breaking down of the PU matrix and the release of the polyol or generation new recyclopoliol. It is shown that various glycols and catalysts can be used for the reaction of catalytic transesterification of PU waste.

Key words: *polyurethane, waste, recovery, depolymerisation, glycolysis.*

<i>Skalskyi V. R., Romanyshyn I. M., Mokryi O. M., and Semak P. M.</i> Assessing damageability of materials by acoustic methods (Review). P. 2.....	15
---	----

Modern tendencies of the development of ultrasonic methods for assessing damageability based on “non-classical” manifestation of structure-specified non-linear effects, “structural” noise, scattered forward signal of diffusion ultrasound of wave interferometry are analyzed.

Keywords: *damageability, non-linear ultrasonic spectroscopy, reverse scattered signal, B-scan, “diffusion” ultrasound, wave interferometry.*

<i>Andreikiv O. Ye. and Hembara N. T.</i> Modeling hydrogen influence on plastic deformation of metals.....	23
---	----

Basic equations of the mathematical model are formulated, which allow us to estimate the influence of hydrogen and mechanical loading on the plastic deformation of metal. It is shown that hydrogen can increase or decrease the dislocation rate depending on hydrogen concentration, temperature and applied loading in pure α -Fe. At low concentrations (up to 2...3 ppm), hydrogen enhances the movement of dislocations, thereby increasing the rate of plastic deformation.

Keywords: *hydrogen, dislocation rate, plastic deformation, hydrogen concentration.*

<i>Derkach O. L., Zinkovskii A. P., Savchenko K. V., and Onyshchenko Ye. O.</i> Evaluation determination of effective characteristic of energy dissipation in layered composites.....	30
---	----

Analytical relations, based on the Voigt–Reiss hypotheses system and the energy method for determining the effective characteristics of energy dissipation in layered composites, are presented. According to the results of numerical studies, it is shown that the combined use of Voigt–Reiss hypotheses allows obtaining their reliable values. The developed model for the energy method is based on the finite element modelling of the representative volume element of the layered composite and equating its cyclic deformation energy to the energy of the quasi-homogeneous material volume. Obtained dependences of the specific damping capacity on the volume fraction of the carbon and glass fibres in the epoxy matrix are compared with the known experimental data to confirm their reliability.

Keywords: *energy dissipation, composite material, representative volume element, effective moduli, finite element method.*

<i>Ivanytskii Ya. L., Vira V. V., Palukh V. M., Kholod P. F., and Holian O. M.</i> Modeling and assessing of steel strength for turbogenerators under complex loading and at elevated temperatures.....	38
---	----

Some aspects of adequate modeling and determining the strength of 26X2MΦ steel for turbogenerators under complex deformation at elevated temperatures are established. The importance of the use of fracture criterion, which takes into account the influence of normal and tangential stresses on the steel strength under complex loading at high temperatures is shown. The curves of the limiting state of steel under common action of tension and torsion in the conditions of high temperatures are constructed.

Keywords: *complex load, criterion of limiting state, diagram of limit state, elevated temperature.*

<i>Kozachok O. P.</i> Local friction wear of elastic half-space with a protrusion.....	42
--	----

The wear-contact of two elastic half-planes (plain deformation), the surface of one of which has a gentle symmetrical protrusion of a cylindrical shape under local wear on the basis of the model of frictional-fatigue fracture is investigated. The formulated contact problem is reduced to a singular integro-differential equation with a Cauchy nucleus with respect to the thickness of the worn material and equations for determining the unknown areas of wear. The shape of the protrusion and contact pressure at the beginning and after wear are analyzed.

Keywords: *wear-contact, protrusion, local wear, singular integro-differential equation.*

<i>Khoma M. S., Korniy S. A., Vynar V. A., Datsko B. M., Maksishko Yu. Ya., Dykha O. V., and Bukliv R. L.</i> The influence of hydrogen sulphide on carbon dioxide corrosion and mechanical characteristics of high-strength pipe steel.....	49
--	----

The corrosion resistance of steel of strength group V-150 in model brine water saturated with carbon dioxide and a mixture of carbon dioxide and hydrogen sulfide in the ratio 50 : 50 (pressure $P = 0.1$ and 6 MPa; temperature 25 and 60°C). The presence of hydrogen sulfide in the environment has been shown to reduce the corrosion rate by almost three times at room temperature and by an order of magnitude at elevated pressure and temperature, what is associated with the formation of sulfide film based on maquinavit and triolite, which inhibits carbon dioxide corrosion. The corrosion currents of steel in a medium saturated with carbon dioxide and a mixture of gases determined by the electrochemical method are practically indistinguishable and are

~ 0.013 mA/cm². It is found that media saturated with gases do not significantly affect the yield strength and yield strength, however, the proportionality boundary increases by 6 and 17%, the relative narrowing decreases in ~ 4.8 and 5.2 times, and elongation in ~ 4.8 and 9.1 times for model reservoir water with CO₂ and with 50% CO₂ + 50% H₂S, respectively.

Keywords: *steel, model formation water, carbon dioxide, hydrogen sulfide, corrosion, mechanical properties, fracture, temperature, pressure.*

Tsibula S. D., Starchak V. H., Ivanenko K. M., Bujalska N. P., Kostenko I. A.,
and Machulsky G. M. Technogenic impact of medium contamination
with heavy metals on corrosion protection of metal structures.....56

The features of corrosion protection of metal structures under technogenic (energetic and ingredient) impact have been studied. It is shown that contamination by heavy metals of fresh and sea water, air and soil increases the risk of technogenic accidents. A complex integrated estimation of the determination of the level of technogenic contamination of environment (natural: air, surface water, soil, and technological: sewage water, working media, etc.) is developed according to which the correlation dependences "Integrated indexes of technogenic contamination – corrosion resistance of steel" are established and the safe level of technogenic impact on the metal construction endurance is found. The possibility of increasing corrosion protection, using the effective environment-friendly synergist protective compositions on secondary raw materials (with utilization of regional wastes) with simultaneous reduction of the level of medium technogenic contamination, is shown.

Keywords: *corrosion protection, technogenic impact, low-cycle fatigue, environmental safety.*

Astrelin I. M., Herasimenko Yu. S., Bilousova N. A., Kosogina I. V.,
and Red'ko R. M. Anticorrosion and anti-scale action of inhibitors
in conditioned wastewater for recirculation systems65

The results of investigation of the corrosivity of biologically treated wastewater of the Bortnychy Aeration Station, as well as the anticorrosive and anti-scale efficiency of ICWS-2 inhibitors (based on diethanolamine and phosphate compounds) and the Aquaton-10 reagent (based on polyhexamethylene guanidine hydrochloride PHMGH) are presented. Differences in partial polarization curves of mild steel 20 were revealed in the presence of inhibitors in model water. Corrosion tests were carried out (by polarization resistance method) in conditions of periodic heating and cooling of water with a duration of 30 h. Coefficients of corrosion inhibition and the specific increase in the mass of scale and surface sediments were determined. It is established that the formation of the protective film at low concentrations of inhibitors occurs over time, and with increasing exposure of the hot water (95°C) the corrosion inhibition coefficients increase to 2.5...3.5. The mechanism of corrosion inhibition is considered. It mainly associates with surface blocking. It is established for the first time that the studied inhibitors have high anti-scale efficiency.

Keywords: *corrosion, inhibitor, wastewater, corrosion inhibition coefficient, anti-scale efficiency.*

Slobodian Z. V., Tymus M. B., Mahlatiuk L. A., and Kupovych R. B. Inhibition
properties of glucose and seignette salt in 5% hydrochloric
and citric acids solutions.....73

The necessity of the use of eco-friendly substances as the inhibitors of acid cleaning of heat exchange equipments from salt scale and corrosion products was substantiated. It is shown that substances of natural origin: glucose and seignette salt of 2; 5 and 9 g/l concentrations protect 20 steel against corrosion in 5% hydrochloric and citric acids

solutions. Composition glucose + seignette salt in 1:1 ratio does not demonstrate synergetic properties in hydrochloric acid and shows the synergetic intensification of protective action in lemon acid. Electrochemical researches show that glucose and seignette salt retard the rate of two electrodes reactions and are the inhibitors of mixed action. Indicators of corrosion rate retarding, determined from gravimetric and electrochemical data, agree well.

Keywords: *heat exchange equipment, eco-inhibitor, glucose, seignette salt, corrosion rate, potential, current, synergism.*

- Hredil M. I., Zvirko O. I., Tsyrunyk O. T., and Nykyforchyn H. M. Development of in-laboratory method of steel degradation for assessing their crack growth resistance.....79

A laboratory express-method for low-alloyed steels degradation that combines preliminary electrolytic hydrogenation and further plastic deformation of specimens and implies the development of dissipated in-bulk damages under such conditions has been adapted for predicting the susceptibility of gas pipeline steels of various strength (17Г1С, X60 and X70) to stress corrosion cracking in a model soil solution. It is revealed that the 17Г1С steel is not susceptible to stress corrosion cracking in the as-received state, however, becomes susceptible to it after its in-laboratory degradation. Still, a higher strength of steels does not necessarily mean a more drastic decrease in their resistance to stress corrosion cracking as a result of degradation.

Keywords: *pipeline steel, operation, in-laboratory degradation, mechanical properties, stress corrosion cracking.*

- Ostash O. P., Polyvoda S. L., Chepil R. V., Titov V. A., Gogaiev K. O., Kulyk V. V., Voron M. M., and Holovchuk M. Ya. The influence of rare-earth metal on structure and properties of cast and deformed Al–Mg–Cr–Sc–Zr alloys.....84

The structure and properties of the Al–Mg–Sc alloy, where magnesium content is reduced (4.55...4.65 mass%) and manganese is replaced by 0.4...0.5 mass% chromium, as well as is microalloyed by 0.05...0.10 mass% lanthanum are investigated. It is established that this alloy in the cast state after homogenization prevails in strength the known 1570 and 1545 alloys due to the precipitation hardening by secondary chromium and lanthanum intermetallics. After hot and cold rolling in strength and ductility it is not inferior to this alloys, but has higher corrosion and fatigue macrocracks growth resistance characteristics.

Keywords: *aluminum alloys, chromium, lanthanum, structure, strength, corrosion and fatigue macrocrack growth resistance.*

- Lavrys S. M., Pohrelyuk I. M., Luk'yanenko A. G., and Dzhugan A. A. Tribological behavior of porous titanium after thermal oxidation95

Porous c.p. titanium was synthesized by powder metallurgy method and its tribological behavior in friction pair with tool steel under boundary lubrication was investigated. It was shown that the porosity contributed to the increase of wear resistance of titanium compared to non-porous titanium obtained by traditional technology. Surface pores on titanium, serving as additional reservoirs for lubricant, which during friction, supply it to tribo-contact zone, thus reducing the intensity of the adhesive wear mechanism. Thermal oxidation of porous titanium reduced the friction coefficient and wear intensity of tribo-pair by 34 and 24%, respectively, due to the formation of the surface chemically inert oxide TiO₂ layer with high micro-hardness.

Keywords: *titanium, powder metallurgy, porosity, friction, wear, surface hardening treatment, thermal oxidation.*

<i>Vlasovets V. M., Ridniy R. V., and Antoshchenkov R. V. Increase of hardness of surfacing of recovery details by economical microalloying.....</i>	102
--	-----

The feasibility of improvement of the surfacing hardness of the restored details, performed under a flux layer using as an alloying element in the flux of ash waste of thermal power plant is established. Optimization of the dosed additive of ash in standard flux is performed. Physicomechanical properties of the metal of surfacing of the surface layer are investigated and metallographic study of its structural state is performed. It is shown that the introduction in standard flux of the optimal dose (5...7%) of ash waste of thermal power plant contributes to the formation of more fine-grained structure, as well as reduces the number and size of nonmetallic inclusions. The proposed economic direction of increasing hardness of the surfacing provides an increase of the surface layer by 18...23% and the microhardness over its depth by 15...20%. As a result the service life of the restored details is longer and the quality of the repair of products is better. In addition, the proposed technology of the welding, in most cases, allows us to eliminate additional manufacturing operations.

Keywords: *details to be restored, hardness of welding, microhardness, alloying additives, flux, ash wastes, inclusions, structure.*

<i>Sachuk O. V., Zazhigalov V. A., Diyuk O. A., Dulian P., Starchevskyy V. L., Kuznetsova L. S., and Kiziun O. V. Properties of Ca(OH)₂/TiO₂ composites modified by mechanochemical and ultrasonic methods.....</i>	109
---	-----

The influence of ultrasonic (UST) (1 h) and mechanochemical (MChT) (4 h) treatment on the physicochemical properties of Ca(OH)₂/TiO₂ system with a molecular ratio 1:1 was investigated. The milling of initial components of mixture after UST and formation of calcium titanate phase after MChT was recorded by the X-ray diffraction method. Analysis of the porous structure showed an increase in the specific surface area and total pore volume due to the activation of powders. Studies of surface morphology by the SEM method demonstrated a formation of much smaller crystals after UST and the formation of elongated prismatic crystals after mechanochemical activation. The catalytic properties of Ca(OH)₂/TiO₂ samples were studied in the selective oxidation reaction of ethanol. It is shown that at low temperatures the acetaldehyde is the main reaction product ($S = 100\%$ at 240°C). Increasing the reaction temperature leads to the formation of hydrogen with a maximum product yield of 32...38% and a productivity of 126 L_{H₂}/(h·kg_{cat}).

Keywords: *calcium titanate, acetic aldehyde, hydrogen, ethanol, activation.*

<i>Ciecielag K., Zaleski K., and Kecik K. Effect of milling parameters on surface defect formation in polymer composites.....</i>	117
---	-----

The number of surface defects in the form of pulled and torn fibers as well as matrix chipping and matrix/fibers interface chipping is determined. The influence of milling parameters on the number of torn fibers and the percentage of defects in the material structure are analyzed. Carbon fiber reinforced plastics are used in this study. The obtained results show a significant relationship between the milling parameters and the produced defects. It is found that the number of defects significantly depends on the feed speed increase. Increase in cutting speed leads to a reduced number of defects.

Keywords: *milling, carbon fiber reinforced plastics, surface defects, topography.*

<i>Posuvailo V. M., Kovalchuk I. V., and Ivashenko I. B.</i> The influence of hydrogen peroxide on composition and porosity of oxide ceramic coatings on Al–Si–Cu and Al–Cu–Mg alloys.....	127
--	-----

The influence of hydrogen peroxide on the phase composition, thickness and porosity of oxide ceramic coatings obtained by plasma electrolytic oxidation on Al–Si–Cu and Al–Cu–Mg aluminum alloys is studied. It is found that H₂O₂ at a concentration of 5 g/l allows us to increase the thickness of the oxide ceramic coating twice compared to the original electrolyte for the two doping systems. Further increase in the concentration of hydrogen peroxide leads to a decrease in the thickness of the oxide ceramic coatings. The maximum content of corundum is obtained at a concentration of hydrogen peroxide of 5 g/l for the Al–Cu–Mg system in 7 g/l for the Al–Si–Cu system. The presence of silicium in the alloy leads to the formation of sillimanite and quartz in oxide ceramic coatings, which is accompanied by an increase in the volume of oxide ceramic coatings. As the concentration of hydrogen peroxide in the electrolyte increases, the porosity of the Al–Si–Cu system decreases and does not change in the Al–Cu–Mg system.

Keywords: *plasma electrolyte oxidation, aluminum oxides, oxide ceramic coatings, X-ray analysis, crystal structure, porosity, sillimanite.*

<i>Petasiuk G. A.</i> Indirect determination of the thickness of the coating of synthetic diamond powders using new 3D models of their grain.....	133
---	-----

For the first time, analytical dependences of indirect determination of the thickness of the coating of synthetic diamond powders for new 3D models of their grain are obtained. Comparative studies of the error in determining the thickness of the coating, which is brought by the proposed new and known 3D models of grain and the corresponding their analytical dependences are carried out. The directions of further development of researches on the subjects considered in the paper are formulated.

Keywords: *cover, powder, grain, thickness, methods of determination, 3D model.*

IN SCIENTIFIC CIRCLES

<i>Yasniy P. V.</i> , <i>Nykyforchyn H. M.</i> European conference “In-service damage of materials, its diagnostics and prediction”.....	137
--	-----

OUR LOSSES

Yasniy Petro Volodymyrovych	139
<i>List of papers published in “Physicochemical Mechanics of Materials” in 2021</i>	141
<i>Authors’ index</i>	147